

初论拱拗构造及其与地震的关系——

以鄂西江汉地区为例

任 镇 寰

(广东省地震局)

李 安 然

(国家地震局地震研究所)

摘 要

本文提出了一个大陆新构造基本类型—拱拗构造。对它的构造特征、性质、应力作用状况以及与地震活动的关系进行了初步论述。以鄂西江汉地区发育的拱拗构造为典型作了较详细的剖析。

一、引 言

地震活动的时空分布和其强弱程度是与一定的地质构造运动特征相一致的。因之人们才提出用地质学的成就去研究地震预报问题,从而为国民经济服务。本文在研究了鄂西江汉地区的地质构造的基础上提出了一种新的构造运动的类型—拱拗运动,来阐明这个地区的地震活动特征。这种拱拗运动可能在国内其他地区也存在。因之,讨论其与地震活动的关系可能有一定的代表性。

二、拱拗构造的概念和基本特征

拱拗构造是在拱拗运动作用下,地壳作宽缓的拱隆或拗陷变形的一种构造(图1)。它的空间展布范围比较广阔,其纵横跨越地域常在百公里乃至数百公里以上。它可划分为二种主要构造形态类型:拱隆和拗陷。所谓拱隆,就是宽缓的背斜状构造。它有一定的轴向(有时轴向不太清楚),地形(构造)面以轴为中心,向两翼和缓地倾斜,坡折很小。若地形面上有沉积物,也相应地发生倾斜。代表倾斜面的地面主要是夷平面和阶地面。根据通常研究夷平面、阶地面的方法,即可确定拱隆变形的时代、速度和幅度。

所谓拗陷,是沉陷的宽缓的向斜状构造。同样,它也有一定的轴向(有时轴向也不大清楚),自轴向两翼,其沉陷是大体连续的、和缓的。它常与拱隆构造相连而作为统一构造应

力场作用下的负向构造单元存在。根据沉积物的地层时代和厚度便可确定拗陷变形的时代和幅度。

拱隆和拗陷在形态分布上可以相连。

在拱拗构造中, 也时有活动断裂构造存在, 主要分布在它们的轴部(顶部或底部)或翼部转折过渡部位。在某些构造条件下(如上述部位原来老断裂比较多), 甚至活动断裂还比较发育。但是, 这些活动断裂一般不是深大断裂。即使原来是, 在新构造期中, 活动深度也比较浅, 规模、范围大大缩小。根据构造力学分析, 拱拗构造在以垂直升降构造应力为主要动力, 同时伴以一定的水平挤压应力作用下, 在拱隆顶部和拗陷底部主要受引张力的作用, 发生张性正断层; 在翼部转折部位, 则主要受张剪应力的作用, 产生张剪性正断兼剪切平移断层。显然, 这些引张、张剪应力是在拱拗运动中导生出来的次一级局部的构造应力(图1)。

同时, 由于地壳是在广大领域的变形, 因重力作用, 主要应力消耗于地壳垂直升降中¹⁾²⁾, 部分能量要用于拱拗弯曲变形, 而在断裂带大量集中、积聚的可能性(条件)较少。所以, 这就决定断裂活动强度、规模是有限的。

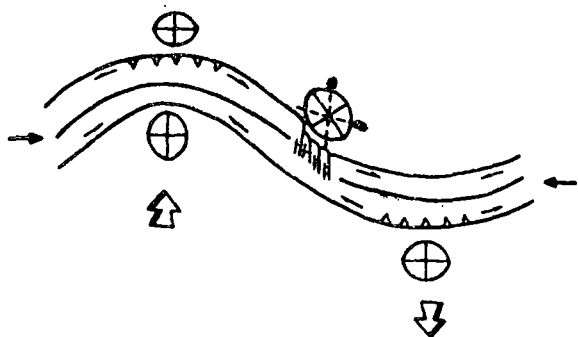


图1 拱拗构造应力作用方式和破裂示意图

Fig.1 Sketch map of stress forms and fracture of the Dome
—Col structure

三、拱拗构造实例—鄂西拱隆与江汉拗陷构造分析

鄂西高原与江汉平原是拱隆与拗陷相连, 拱拗构造形迹表现比较清楚的地区。

鄂西高原的老构造是以各种各样的褶皱构造非常发育为特色的。但是, 进入新构造期以后, 都卷入拱拗构造的行列了, 形成了一个统一的较典型的拱隆构造。据谢家荣^[3]、巴尔搏^[4]、沈玉昌^[5]、扬怀仁^[6]、叶汇^[7]、李坪^[8]以及作者^{[9]3)}等的研究, 鄂西高原上主要发育鄂西期(晚第三纪初?) 1500米左右, 山原期(上新世末或第四纪初) 1000米左右二期夷平面。这两期夷平面都以三峡段为中心, 向东西两侧和缓的倾斜, 组成宽缓的背斜状构造形态。如山原期夷平面在三峡段为1000米, 向西极平缓下降, 至重庆降为500—600米(重庆歌乐山背斜脊顶的夷平面)。向东倾伏稍快一些, 降至宜昌以东依次为700米(南沱)、600米(平善坝)、500米(南津关)以至200米(宜昌)。

横切高原的长江河谷两岸的阶地形变规律更清楚地显示出这一构造形态特征。在宜昌至万县间三峡河谷段发育着10级阶地, 它们的分布均是连续的, 没有发现显著的差异错断变形。在奉节、巫山一带相对高度最大, 往东往西均逐渐降低, 清晰地呈一宽缓的拱形背斜状

1) 李四光, 接见“三西”地震队代表的讲话, 1970。

2) 李四光, 关于地震地质工作的几点意见, 1970。

3) 鄂西、豫西、湘西地震区划协作队(以下简称三西队), 湘西、鄂西、豫西地震区划和丹江、三峡地区断裂研究小结, 1971。

构造。但还是东边倾伏稍快一些,说明东部变形稍大于西部,是一个不很对称的拱形背斜(图2)。如第一级阶地在宜昌为10米,向西至巫山、奉节升至50米,再往西则下降,至万县为35米左右,到重庆则只有20余米了。第二级阶地在宜昌为15—20米,至奉节升为70—80米,往西至重庆降为40—50米。第五级阶地在宜昌为100米左右,在奉节最高,达136米,至重庆降至100米左右。其余各级阶地高程分布详见图2。

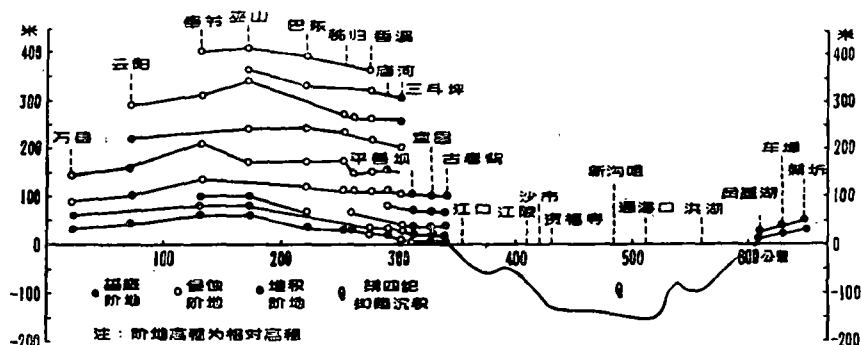


图2 长江三峡阶地位相及江汉平原第四纪拗陷底部
地形剖面图(横切拱拗构造)

Fig. 2 Terraces in the Changjiang Three Gorges and basal topography of the Quaternary Wuhan depression.

江汉平原是一个较好的拗陷构造。它从白垩纪开始就是一个负向构造单元了。但第四纪前,它的沉积范围、厚度都远远超过第四纪(其间也有过沉积间断),构造线也不同于第四纪,主要为北西向或近东西向¹⁾²⁾³⁾,也以褶皱构造为主。所以把它与第四纪的构造划分开来,视为老构造的一部分,而只把第四纪的拗陷构造视为新构造。

第四纪拗陷中心在通海口一带,最厚沉积为210米左右,往东往西渐次变薄,沉积等厚线大体为北东向。从地貌上来看,平原西部山原期夷平面由宜昌相对高度200米,往东至土门垭、雅雀岭一带120米,至沙市已倾伏于平原之下。阶地分布方面,宜昌附近的中更新世高阶地在玛璃河下游经董市、松滋至江口一线以东虽然突然消失,可能在中更新世末有过一次断褶(幅度不大),但由晚更新世沉积物组成的第一、二级阶地的低阶地却是连续的,一直至江口才倾没于平原之下。到了平原东侧,地貌形态与其西侧相对应,在城陵矶、黄盖湖、汉川一带,山原期夷平面第一、二级阶地又重新出露于平原之上,由埋藏状态逐渐升高,整个平原组成一个较好的宽缓的向斜状拗陷(图2)。

如前所述,拱拗构造中时有断裂发育,鄂西拱隆与江汉拗陷也不例外。并且,它的活动断裂的分布、力学性质和特征与前面的理论分析大体相符。它主要分布在构造的顶部、底部和翼部的转折部位(图3)。鄂西拱隆顶部的活动断裂主要有仙女山断裂、黔江—恩施断裂、咸丰断裂,此外,还有新华断裂、九湾溪断裂等。江汉拗陷底部的断裂主要有通海口断

1) 地质部第四物探大队, 江汉平原1959—1966年上半年地震工作成果报告, 1966.

2) 地质部第五普查勘探大队综合研究队构造组, 鄂中拗陷构造特征初步报告, 1964.

3) 地质部第五普查勘探大队综合研究队构造组, 江汉拗陷构造特征, 1966.

裂,此外还有潜江断裂、沔阳断裂等¹⁾。鄂西拱隆与江汉拗陷过渡转折部位有远安断裂,江汉拗陷东翼过渡转折部位有洪湖断裂。这些断裂规模一般均不大,切割深度比较浅,沿断裂带缺乏大量深部岩浆物质分布,与区域性的布格重力异常梯度带在方向上亦不一致,只是部分断裂在航磁上可显示出次一级的磁场线形变化带²⁾。可见它们具有地壳浅层断裂的一般特点。象远安断裂这样一条处于拱拗边缘部位的重要构造,尽管表现出一定的活动性,但对现代地壳运动控制作用却很不显著,尤其在南段,其西侧的黄陵背斜隆起不受其限制,不断向东扩大^[10],服从拱隆发展的规律。这就是断裂切割不深的一个明显例子。在新构造期,这些断裂断距也比较小,以至阶地、夷平面、第四纪沉积物均没有因它们的存在而发生显著的断裂变形。作为衡量断裂活动深度重要标志的震源深度也浅,一般只在10公里范围内。

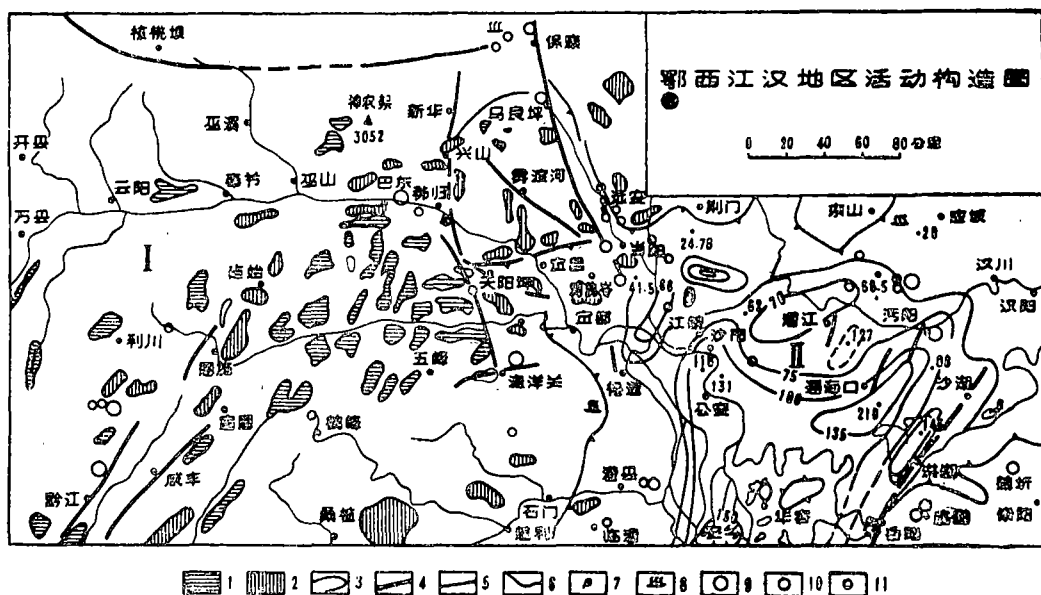


图3 鄂西、江汉地区活动构造图

I. 鄂西拱隆, II. 江汉拗陷, 1. 鄂西期夷平面 2. 山原期夷平面 3. 第四系等厚线(虚线为推测部分, 数字表示第四系厚度, 小黑点表示钻孔位置) 4. 第四纪活动断裂 5. 第四纪无显著活动的断裂 6. 拗陷边界线 7. 玄武岩 8. 温泉 9. 地震 $M_s = 5 - 5.5$ 10. 地震 $M_s = 3 - 4.9$ 级 11. 地震 $M_s = 2 - 2.9$ 级。

Fig. 3 Active structure of the West Hupei-Wuhan area.

关于断裂构造力学性质方面,上述断裂有一个共同特点,即在新构造期基本上都表现为张性或张剪性。其地质标志很清楚,主要表现在结构组合形式上为地堑地垒式,反映出以拉伸作用为主的张性应力环境。仙女山断裂、远安断裂及其东侧的荆门断裂、钟祥断裂等的地堑地垒组合系列就是例子(图4)。黔江断裂、咸丰断裂地质结构也与之类同³⁾⁴⁾。江汉拗陷中几条断裂发育的地区第四纪沉积厚度相对较大(图3),推测可能是拉张性小型地堑

1) 石油工业部江汉石油勘探处, 江汉平原及其周缘1962年度区域构造专题研究小结, 1963.

2) 国家计委地质局航空物探大队909队, 长江三峡地区航空磁测结果报告, 1974.

3) 中南地震大队“三西”地震工作队, 湘西、鄂西、豫西地震区划和丹江、三峡地区断裂研究小结, 1971.

4) 刘镇旺等, 1856年湖北咸丰县大路坝地震考察, 湖北省地震工作经验汇编, 1981.

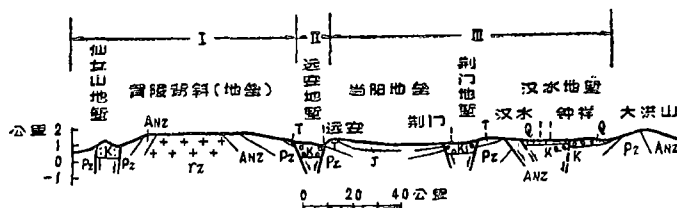


图4 鄂西—鄂中地区张性断裂组合示意剖面图

I. 鄂西拱隆顶部(东部) II. 拱隆转折过渡部位(北端) III. 江汉拗陷(北缘)

AnZ—前震旦系 r₂—吕梁期花岗岩 P₂—古生界(包括震旦系) T—三迭系 J—侏罗系 K—白垩系 Q—第四系

Fig. 4 Composite of the tension faults of the West Hupei-Wuhan area.

结构。此外,在各断裂带常可见到断层角砾岩(有的胶结程度还相当差,如仙女山断裂北段之窟洞坡剖面所见),或者第四纪阶梯状正断层(如九湾溪东侧的狮子崖古山麓堆积体中的断层——九湾溪断层,垂直断距达10米,水平断距数米,张性略兼扭性¹⁾²⁾),或者由张性正断活动形成不对称河谷(图5),串珠状洪积扇(如远安断裂北段重阳坪、马良坪等地所见)以及断层上盘宽谷地貌(如黔江断裂大路坝地区²⁾)等等反映张性断裂活动的地质标志。

以上认识还可以从仪器观测的微观数据得到进一步佐证。王威中利用1970—1974年33个小震的60个初动符号,求得北纬30°—32°、东经110°30′—112°30′范围内(即鄂西江汉地区)的小震迭加震源机制解(表1),表明发震断层面(节面B)为右旋走滑(剪切)性质,具正断层分量。同时,发生在拱隆转折部位的几个较大地震震源机制解也与区域小震迭加震源机制结果几近一致(表2)。

鄂西江汉地区多台小震迭加震源机制解

表1

名 称	节 面		主压应力轴	主张应力轴	错动方向轴	错动方向轴
	(A)	(B)	(P)	(T)	X _A	X _B
走 向	62°	344°	21°	115°	73°	334°
倾 向	北西	北东				
倾 角	80°	60°				
仰 角			36°	6°	30°	20°

1) 夏其发等,鄂西天坪、仙女山、九湾溪诸断裂组合关系与生成条件的探讨,1977。

2) 刘国昌等,长江三峡坝区的区域稳定性,1979。

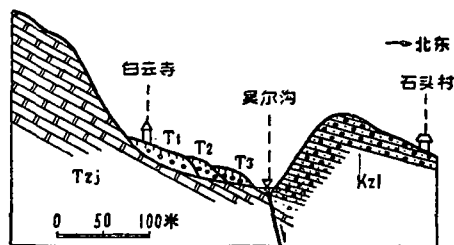


图5 远安断裂带上白云寺处地质剖面

Tzj—中三迭嘉陵江灰岩 K₂L—上白垩统罗镜滩砾岩
T₁—T₉—阶地及级数(注意阶地只在断层上升盘发育)

Fig. 5 Geologic profile of the Yuan-an faults at the upper Baiyuns.

鄂西江汉地区（拱拗构造过渡部位）几个地震震源机制解

表 2

地震时间	震中位置		地点	震级 (M_s)	地震断层面			错动方向		错动性质	资料来源
	东经	北纬			走向	倾向	倾角	走向	倾角		
1969. 1. 2	111°24′	31°29′	保康马良	4.7	303°	北东	24°	292°	6°	正断层	“三西”队 王威中 李蓉川韩晓光
1973. 10. 10	112°19′	30°59′	荆门	3.9	339°	北东	74°	333°	仰角16°	走滑具正断层分量	
1981. 7. 5	111°38′	30°54′	当阳峡口	3.8	355°	北东	65°	185°	15°	剪切为主	

王静瑶对1979年5月22日秭归5.1级地震孕震区（黄陵背斜以西，青峰断裂以南，巫山以东，五峰以北约150×150平方公里范围）的小震采取平滑初动的方法，求得小震统计机制解，表明位于拱隆顶部的仙女山断裂带为引张区（初动向下，图6）。

仙女山断裂的地形测量资料也得到类似的结果¹⁾²⁾。长江流域规划办公室三峡勘测大队地震地质队在仙女山断裂北端周坪设有形变观测站。该站北西方向距1979年秭归5.1级地震震中45公里，其跨断层短水准观测资料反映，仙女山断裂（北北西走向）上盘（西盘）在临震前一个月大幅度急速下沉，下沉速率为1978年的三倍，说明该断层为张性正断活动。而短基线观测值1979年比1978年伸长了80 μ （已经过一系列误差改正处理），亦表明仙女山断裂在扩张。

还值得指出的是，上述活动断裂中有一部份断裂（主要是鄂西拱隆构造中）走向与拱拗构造轴向（北东）不一致，为北北西向，作者认为，这是因为在新构造（拱拗）运动中利用、牵就了该区原有构造线比较接近的断裂并加以改造的结果，而一些与拱拗轴向偏离角度较大的断裂，如天阳坪断裂、雾渡河断裂、渔洋关断裂等，在新构造活动期活动性就很小，这也从另一个角度说明对拱拗构造力学分析是比较合乎客观实际的。

四、拱拗构造活动与地震的关系

由前面几节的分析，可以作出这样的概括和推论：拱拗构造是地壳一种宽缓的塑性变

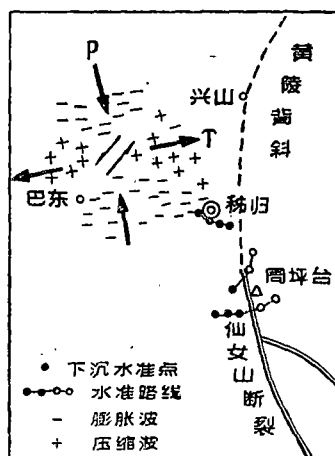


图6 秭归5.1级地震震源应力场与仙女山断裂垂直形变的关系（据王静瑶）

Fig. 6 Focus stress field of the Zigui $M=5.1$ earthquake and its relation to the vertical strain of the Xiannushan fault.

1) 杨云发，秭归5.1级地震前仙女山断裂北端的形变活动，湖北省地震工作经验汇编，1981。

2) 虞廷林等，从地壳形变探讨1979年5月秭归5.1级地震机制，湖北省地震工作经验汇编，1981。

形,未能导致岩石块体大规模的瞬间破裂。虽然它也有断裂构造,有时甚至还不少,但是,它们的规模一般不会很大,活动能量不会太高。从断裂活动导致地震发生这一观点出发,可以推知拱拗构造的地震活动性也不会很强。并且,地震的分布应当大体符合活动断裂分布规律,即主要分布在拱拗构造轴部和拱拗转折部位。

鄂西江汉地区1961—1981年 $M_s \geq 3$ 级

地震部分震源深度简表 表3

序号	地震时间	震中地点	震级 (M_s)	震源 深度 (公里)	备 注
1	1961. 3. 8	宜都潘湾	5.2	8	据宏观资料计算
2	1969. 1. 2	保康马良坪	4.7	14	
3	1971. 6. 17	远安瓦仓	3.2	11	
4	1972. 3. 13	秭归周坪	3.0	8	
5	1979. 5. 22	秭归龙会观	5.1	16	
6	1981. 7. 5	当阳峡口	3.8	10	据宏观资料计算

鄂西拱隆与江汉拗陷的地震活动特征正符合上述认识。它的特征是:地震强度弱,频度低,震源浅,多为单发型。查阅区域内2000多年来历史记载和20多年来地震仪器观测记录表明,最强地震未超过5.5级,烈度未超过7度,震源深度一般在10公里左右范围内(表3)。地震的前、余震很少,大多数为单发型。从地震的分布来看,主要在仙女山断裂和远安断裂附近。

前面已指出,这两条断裂是本区新构造期活动较显著,规模稍大的断裂,其构造位置恰恰是拱隆顶部和拱拗转折部位(图3)。此外,西部的黔江断裂带和东部的洪湖断裂带附近也有一些地震分布,它们的构造位置也是属于拱隆顶部和拱拗转折部位。至于江汉平原的地震活动则更弱,5级以上的地震几乎没有,3级左右的地震也很少见,这可能与那里可供继承性活动的规模较大的老断裂较少,新构造活动差异性小,加之上部沉积物负载的压抑作用,岩石破裂更难有关。

由上所述,可以认为,拱拗构造地区基本上属于地震活动相对弱的地区。

五、结 语

拱拗构造是大陆地壳新构造的一个基本类型。它是在以垂直升降构造应力为主,同时伴有一定的水平挤压应力作用下,地壳作宽缓的拱拗变形的一种构造。其空间展布范围广阔,有一定的轴向,可划分为拱隆和拗陷两个主要构造形态。拱拗构造中也有活动断裂构造发育,主要分布在它们的轴部或翼部转折、过渡部位。这些断裂一般不是深大断裂,主要为张性正断层或张剪性正断兼剪切平移断层。它们的力学性质及其分布规律也充分反映了拱拗构造的应力作用状况。

拱拗构造在我国东部分布可能相当广泛,而在鄂西江汉地区发育最为典型。根据作者初步工作和现有资料分析,这类构造在我国东部特别是东南部分布可能相当广泛,如湘西湘中、豫西(郑州以南)、南岭、赣东赣中、贵州高原等等。甚至于大兴安岭地区也可能存在上述构造。

由于拱拗构造运动中的能量主要消耗于大范围的地壳垂直升降和拱拗变形中,故断裂上应变能集中聚积的条件较差,其活动强度、规模有限,直接影响到地震活动性。使地震活动强度弱、频度低、震源浅,多为单发型。因此,拱拗构造地区地震活动性相对较弱。

拱拗构造的研究具有重要意义。它是大陆地壳构造的一个重要组成部分。深入研究它,必将充实陆壳构造地质学的内容。在实际应用中,对工程稳定性评价,特别是对地震地质研

究、地震区划、防震抗震工作部署都是很重要的，从理论上提供了划分少震、弱震区的一个方面的重要依据。

最后，必须指出，本文对拱坝构造的研究只是一个开端，把问题提出来，建立一个初步概念，无论从理论本身或是工作地区都有待不断深入和扩大范围，不断充实完善。由于水平有限，本文可能存在错误和缺点，敬请读者批评、指正。

本文在写作过程中，王静瑶、王威中、李蓉川、严尊国等提供宝贵资料，丁原章、陈恩民等对文章提出许多宝贵意见，在此一并致谢。

（本文1983年7月20日收到）

参 考 文 献

- 〔1〕任镇寰，论第四纪地质学在地震地质研究中的应用，华南地震，№1，1981.
- 〔2〕任镇寰，第四纪地质学，地震出版社，1983.
- 〔3〕谢家荣、刘季辰，湖北西南部地质矿产，中央地质调查所地质汇报，第九号，1927.
- 〔4〕巴尔博，扬子江流域地文发育史，地质专报，甲种第14号，1935.
- 〔5〕沈玉昌，长江上游河谷地貌，科学出版社，1965.
- 〔6〕杨怀仁等，长江中下游（宜昌—南京）地貌与第四纪地质，1960年全国地理学术会议论文选集（地貌），科学出版社，1962.
- 〔7〕叶汇，华南与华中的新构造运动，1960年全国地理学术会议论文选集（地貌），科学出版社，1962.
- 〔8〕李坪等，对长江三峡东段新构造的几点新认识，构造地质问题，科学出版社，1965.
- 〔9〕李安然，长江峡东的地震构造浅析，地壳形变与地震，创刊号，1981.
- 〔10〕李安然等，鄂中远安断裂带的新构造活动与地震，地壳形变与地震，№2，1982.
- 〔11〕王静瑶，1979年湖北巴东5.1级地震震源机制与地形变，地壳形变与地震，创刊号，1981.

THE DOME—COL STRUCTURE AND ITS RELATION TO EARTHQUAKES AN EXAMPLE FROM WEST HUPEI AND WUHAN

Ren Zhenhuan

(*Seismological Bureau of Guangdong Province, Guangzhou, China*)

Li Anran

(*Institute of Seismology, State Seismological Bureau, Wuhan, China*)

Abstract

Taking the Dome-Col structure in the West Hupei and Wuhan area as a typical example, a new form of neo-tectonics has been made. The tectonical characteristics, properties, state of stress, and their relation to earthquakes have been analysed preliminarily.

沉痛悼念张荣珍同志

正当我国地震科学特别是地震预报科学处于攻坚阶段的时候, 长期领导过西北地震工作的张荣珍同志与我们永别了。他患的是脑血病, 各方面同志甚为关怀, 并积极为他医治, 终因抢救无效于1984年8月19日在北京去世, 年仅57岁。我们为他的早逝而十分沉痛。

张荣珍同志出身贫苦, 很小就参加了革命。在抗日战争、解放战争和抗美援朝中, 他作战勇敢, 多次负伤, 去世前脑中还有弹片未取出。他数次荣立战功, 曾荣获三级解放勋章和朝鲜二级独立自由勋章。

1958年, 张荣珍同志转业到科研战线, 领导地震、气象和融冰化雪工作。在1960年—1962年困难时期, 他全身浮肿, 仍与大家一同甘苦渡过困难。

他是中国科学院兰州地球物理研究所的主要领导者和组织者。他领导全所人员艰苦创业, 终于使这个研究所由弱到强, 成为一个能完成国家任务的研究所。他重视知识份子, 重视有真才实学的人, 常与科研人员、考察人员、台站人员和工人同志一起完成科研任务。有一次, 他和考察队员乘坐的车在祁连山边的河中突然熄火, 他第一个跳进冰冷的水中推车。1965年元旦, 他不过年, 放弃休息, 和有关同志一起制订西北地震预报规划, 科学院领导同志认为他抓这个问题有远见。他还建议在这个规划中要加上群众报震的内容。

在文化大革命中, 他坚持原则, 维护党的利益。某些人强迫他承认14条是黑14条, 他严辞拒绝。后来他说: “14条是党中央政治局通过的, 我是党员, 我决不能说它是黑14条”。

1970年西吉地震发生时, 正值严冬。他亲临现场与中央地办张魁三同志一起指挥监视震情和进行救灾工作。他顶住了“极左”思潮, 带领科技人员对地震趋势作出了正确的估计, 安定了人心, 避免了大寒流带来的灾害。

西北虽大, 到处都有张荣珍同志的足迹和汗水, 他为西北及我国的地震和气象工作作出了重要贡献。我们怀念他, 就是要学习他那平易近人、吃苦耐劳、艰苦创业、坚持原则的精神。我们一定要攻克地震预报关, 研究最佳抗震方案和大震对策, 为祖国的四化建设作出贡献。